Institut royal des Sciences naturelles de Belgique | Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen

BULLETIN | MEDEDELINGEN

Tome XXVII, n° 43. Bruxelles, juillet 1951. | Deel XXVII, nr 43. Brussel, Juli 1951.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE ET CLASSIFICATION CHIMIQUE RATIONNELLE EN TYPES DES EAUX NATURELLES,

par Jean KUFFERATH (Bruxelles).

(Avec une planche hors texte.)

1re Partie. — Représentation graphique de la composition chimique des eaux.

La grande variabilité chimico-biotopique des eaux naturelles dépend beaucoup plus des teneurs absolues et relatives des ions dissous que de la présence ou de l'absence de certains éléments. Les eaux contiennent quasi toujours les mêmes constituants majeurs. Seules varient les concentrations de ces constituants. Cela ressort nettement des tableaux d'analyses complètes.

Malheureusement, sauf pour ceux qui se spécialisent dans ce domaine, la lecture et surtout l'interprétation et la comparaison entre elles de ces données chimiques sont souvent ardues. Elles exigent une attention comparative qui doit tenir compte, à la fois, de chaque valeur numérique et des multipes rapports de cette valeur avec toutes les autres.

Une représentation graphique, avec tout ce qu'elle apporte de suggestive visualisation synthétique des rapports, rendrait ici des services certains.

Reconnaissons tout de suite que le grand nombre des constituants des eaux naturelles d'une part, et les variations parfois énormes de leurs concentrations d'autre part, rendent le problème insoluble dans son intégralité.

Les méthodes graphiques classiques sont inutilisables parce que trop limitées dans leurs possibilités. Les représentations par coordonnées rectangulaires ne permettent pas, en effet, de représenter plus de quatre constituants (et encore faut-il qu'ils forment deux couples en équilibre !).

Les graphiques triangulaires de BAKHUIS ROOZEBOOM permettent la représentation par un seul point de trois constituants à la condition qu'ils soient liés entre eux par la relation : $C_1 + C_2 + C_3 =$ constante. Ceci peut être fort intéressant dans certains cas ; par exemple, pour l'étude de l'évolution d'un mélange ternaire ou pour la représentation d'un optimum biotopique. Au besoin, comme l'a conseillé J. RUINEN (selon L. G. M. BAAS BECKING et A. MASSINK) (1) on peut, en superposant deux de ces graphiques triangulaires, donner une représentation suffisante de la composition des eaux naturelles qui seront alors caractérisées par un couple de deux points définissant leurs teneurs relatives en six ions (trois cations et trois anions).

On ne peut pourtant dissimuler que l'exploitation par cette méthode graphique, si rigoureuse par ailleurs, des données analytiques demande une certaine habitude des graphiques physicochimiques.

La représentation triangulaire restera néanmoins la méthode de choix pour l'étude précise de l'évolution d'une eau, et spécialement, dans le cas de la concentration avec phénomènes de précipitation ou de cristallisation. Le graphique de BAKHUIS ROOZEBOOM est, en effet, particulièrement expressif pour ce qui a trait aux combinaisons, aux sels doubles, aux eutectiques et à l'action des variations éventuelles de la température sur les équilibres.

I. TELKESSY, de son côté, a inventé le principe d'une autre représentation graphique qui, quoique moins physico-chimique, offre des avantages évidents. Le principe de TELKESSY est de reporter les concentrations relatives de 8 ions majeurs sur les axes d'une figure polaire de symétrie huit. En joignant ces points entre eux, on obtient une figure polygonale dont l'aspect caractérise la composition de l'eau.

Cette ingénieuse idée fut reprise par R. MAUCHA qui publia la modification qu'il fit de ce graphique dans ses « Hydrochemische Methoden in der Limnologie » (2). L'objet principal de cette modification fut de rendre (ce qui n'était pas le cas dans les graphiques originaux de TELKESSY) les surfaces rela-

tives aux différents ions proportionnelles à leurs concentrations respectives. Il en résulta des figures étoilées « esthétiques » et rationnelles qui offraient des aspects typiques pour les diverses catégories d'eaux (3) et (4).

On peut reprocher aux graphiques de MAUCHA de n'être pas faciles à construire car ils exigent notamment l'emploi de facteurs de construction. Cet inconvénient pourrait cependant être facilement évité en utilisant des diagrammes imprimés où seraient indiquées les échelles des pour cent relatifs des ions ainsi que l'hexadécagone d'équivalence ionique.

Nous avons personnellement utilisé tel quel le graphique de MAUCHA et avons pu en apprécier les avantages et les inconvénients. Parmi ces derniers, le plus important, à notre avis, est que le graphique est impossible à construire si l'on n'a pas déterminé, entr'autres, les teneurs en sodium et potassium d'une part et celles des ions carbonique et bicarbonique d'autre part.

En effet, MAUCHA présuppose déterminés les huit ions principaux suivants : Na^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, Cl^-, $SO_4^=$, $CO_3^=$ et CO_3H^-. Or, sauf à de rares exceptions, la plupart des analyses publiées ne comportent pas la séparation des deux alcalins. Les déterminations séparées des ions carbonique et bicarbonique ne sont pas fréquentes non plus. Ces faits interdisent donc d'utiliser de nombreuses données de la littérature, vu l'impossibilité où l'on se trouve de compléter une moitié du graphique de composition.

C'est cet inconvénient majeur qui nous a poussé à modifier le diagramme de TELKESSY-MAUCHA.

Nos modifications ont porté sur deux points :

A — réduction à six du nombre des ions toujours représentés.

B — simplification de la technique du dessin, de façon à pouvoir tracer le graphique à main levée et, en tout cas, sans autre instrument qu'une règle.

A — Nombre des ions représentés :

Nous basant notamment sur les études de J. DELECOURT (5), nous avons été amenés à réduire le nombre des ions représentés à six, soit trois anions ou sommes d'anions :

Cl^- (plus éventuellement Br^-)
$SO_4^=$
$CO_3^=$ fixe ou combiné (calculé à partir de l'alcalinité, soit par la somme $CO_3^=$ réel + 1/2 CO_3 du CO_3H^-

et trois cations ou sommes de cations :

Ca^{++} (plus éventuellement Sr^{++})
Mg^{++}
Alcalins fixes (somme Na^+ + K^+ et éventuellement Li^+).

Notons que cette simplification avait déjà été faite par J. Ruinen, mais, chez cet auteur, c'était parce que la représentation utilisée exigeait, par essence même, cette limitation à trois des constituants. De toute façon, la réduction à six ou à deux fois trois du nombre d'ions a l'avantage de permettre d'utiliser de nombreuses analyses de la littérature. En effet, la plupart des analyses « soignées » donnent, ou permettent de calculer, Ca^{++} (+ Sr^{++}), Mg^{++}, halogènes, sulfate, alcalinité et extrait sec.

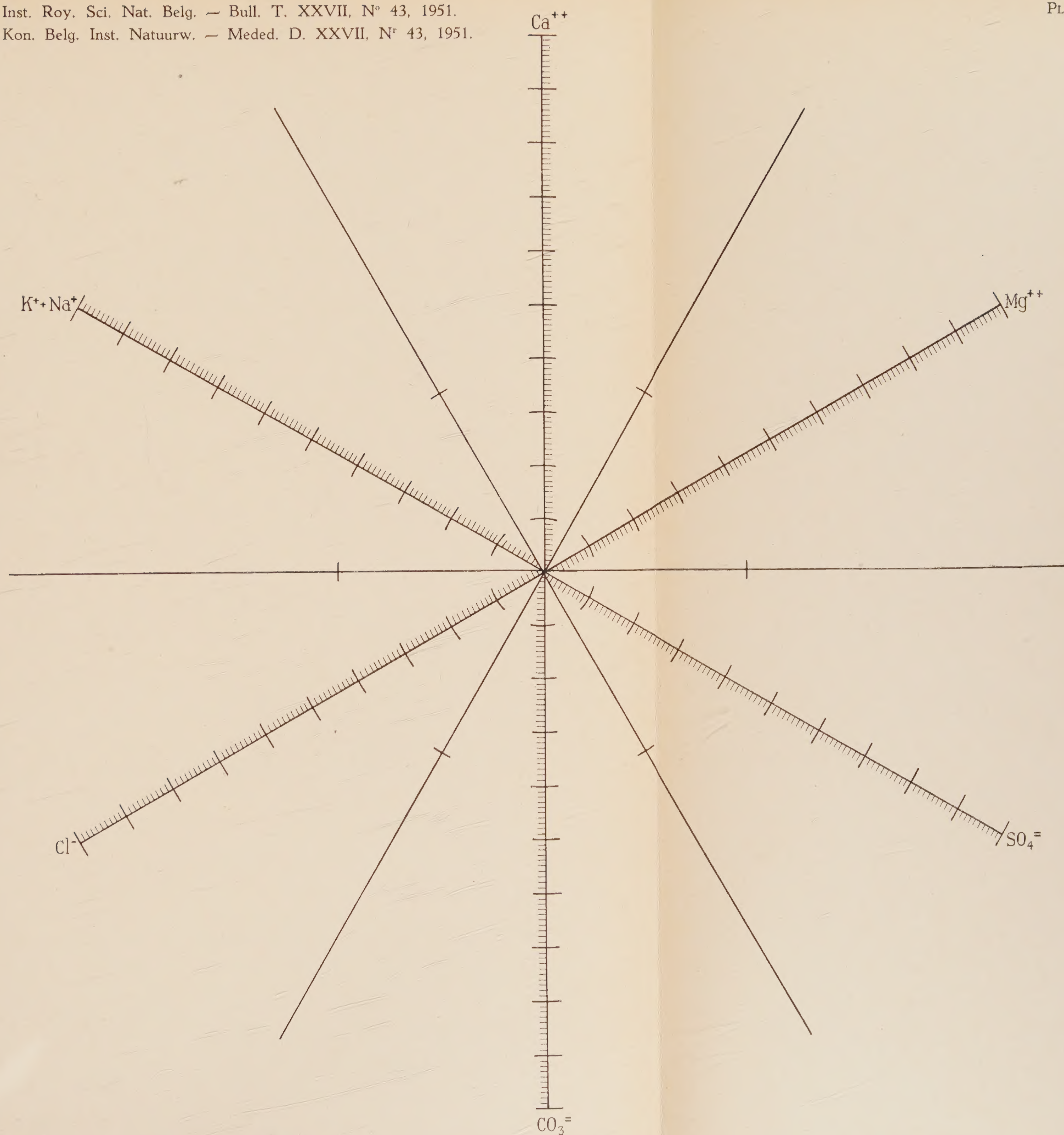
Comme d'autre part, les composés sans polarité (Fe_2O_3, SiO_2 et Al_2O_3) sont très fréquemment dosés, les alcalins peuvent ainsi bien souvent être calculés par différence à partir de l'extrait sec et de la somme des autres composants calculés en « résidu sec ». Evidemment, cette méthode est moins précise que le dosage direct, mais, si l'analyse a été faite par un bon analyste, elle permet néanmoins d'obtenir les alcalins avec une précision généralement satisfaisante.

Faisons remarquer, en passant, que, dans la représentation graphique que nous proposons, rien n'empêche, si on les possède, de reporter aussi sur le diagramme les concentrations partielles de Na^+ et K^+ ainsi que celles de $CO_3^=$ et de CO_3H^-, voire de Br^- et Sr^{++} (chose impossible par la méthode graphique de J. Ruinen).

B. Simplification technique du tracé :

L'autre modification apportée par nous au graphique de R. Maucha a été de simplifier fortement la technique de construction du diagramme en choisissant une échelle convenable en l'occurrence de 1 mm par % ionique. Comme on le verra peu après, la construction de la figure représentative d'une eau donnée est ainsi réduite au minimum, à la seule condition de posséder le diagramme de référence. Ce dernier, notons-le, peut d'ailleurs, au besoin, être réalisé sans peine par chacun.

Inst. Roy. Sci. Nat. Belg. — Bull. T. XXVII, N° 43, 1951.
Kon. Belg. Inst. Natuurw. — Meded. D. XXVII, Nr 43, 1951.



J. KUFFERATH. — Représentation graphique des eaux naturelles.

Principes du diagramme de référence et tracé des figures représentatives des eaux.

1) Calculs préalables — Teneurs relatives des ions.

Les teneurs des ions composants (généralement exprimées dans les analyses en milligrammes par litre) seront d'abord recalculées, si cela n'a pas été fait, en millivalences-grammes puis, enfin, exprimées en pour-cent relatifs des sommes des ions de même signe, c'est-à-dire que les anions seront exprimés en % de la somme des valences des anions et les cations en % de la somme des valences des cations. Bien entendu, on ne comptera que les ions suivants : Ca^{++}, Mg^{++}, alcalins, $CO_3^{=}$ fixe, $SO_4^{=}$ et Cl^{-}. Si d'autres ions existaient dans l'eau, en principe, on les négligerait.

Pour une analyse correcte et s'il n'y a pas d'ions autres en quantité importante (cas le plus général) on devra avoir sensiblement : somme des millivalences-grammes anioniques = somme des millivalences-gramme cationique = 100 % conventionnellement.

Dans ces totaux, chaque ion envisagé interviendra pour une valeur qui, selon les cas, variera entre 0 et 100 %, chiffres extrêmes.

Les six pourcentages relatifs ainsi obtenus sont ceux que l'on reportera dans la figure représentative de l'eau.

Ces nombres sont donc, ce que J. Delecourt (6) appelle « l'analyse spécifique » de l'eau, à cette exception près que potassium et sodium sont ici totalisés et comptés comme « alcalins ».

2) Principes de la représentation graphique.

Trois droites se coupant à 60° en un point constituent une figure polaire de symétrie six.

Le point d'intersection de ces droites étant pris comme origine, reportons sur les six axes des longueurs (OX_1, OX_2, OX_3, etc.) proportionnelles aux concentrations des six ions dans l'eau envisagée (fig. 1).

Traçons d'autre part les bissectrices des six angles au centre de notre figure et sur ces bissectrices reportons une longueur constante donnée soit $\overline{OI}$ (fig. 2) dont la valeur précise sera définie tout de suite après.

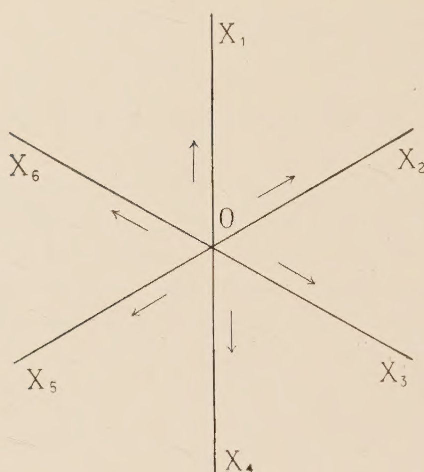


Fig. 1.

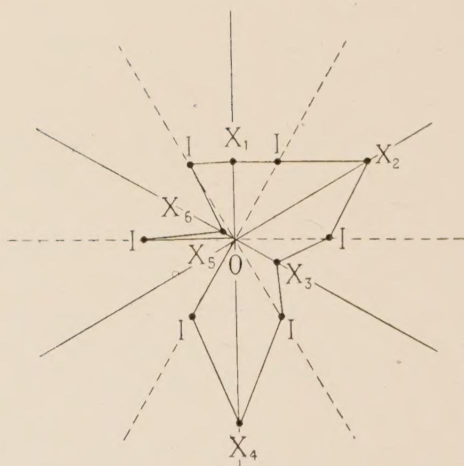


Fig. 2.

En joignant par des droites les points fixes I ainsi obtenus aux points X, correspondant aux concentrations ioniques, nous obtenons une figure polygonale dont la figure 2 donne un exemple.

Dans cette figure, chaque secteur compris entre deux bissectrices $\overline{OI}$ consécutives, délimitera ainsi un tétragone (convexe ou concave), dont la surface sera rigoureusement proportionnelle à la concentration $\overline{OX}$ de l'ion correspondant (fig. 3 et 4).

Pour une seule concentration (celle dont le point représentatif X tombe sur l'alignement des deux points I), les côtés a et a', ou b et b' sont dans le prolongement l'un de l'autre et la surface représentant l'ion devient alors un triangle (IOI'), isocèle par construction.

C'est ce cas particulier qui sert à préciser la position des points fixes I. Ceux-ci seront choisis tels qu'ils correspondent dans ce cas particulier à une concentration égale des six ions, c'est-à-dire à 33,33 % de chaque ion.

Ces six points I formeront les sommets d'un hexagone, que nous nommerons logiquement *hexagone d'isovalence*.

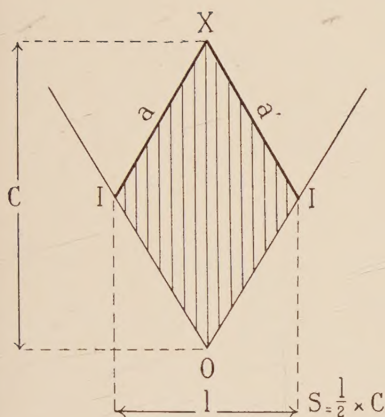


Fig. 3.

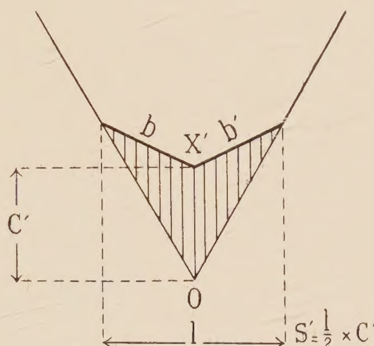


Fig. 4.

3) Construction du diagramme de référence.

Pratiquement le diagramme de référence est construit sous la forme d'un hexagone d'apothème égal à 100 mm. Cet hexagone est disposé de telle sorte qu'une de ses diagonales soit hirozontale. On trace les 3 diagonales puis les 6 apothèmes qui seront gradués en millimètres. Sur les diagonales on reporte les sommets de « l'hexagone d'isovalence », c'est-à-dire, comme nous venons de l''exprimer, de l'hexagone qui représenterait la composition d'une eau contenant les 6 ions en quantités équivalentes (33,33 % pour chacun). Ces points correspondent à l'intersection des diagonales avec un cercle de rayon :

$$R = \frac{2 \times \text{apothème}}{\sqrt{3}}.$$

Comme par convention, 1 millimètre représente 1 %, l'apothème de l'hexagone d'isovalence égale ici 33,33 mm et R vaudra 38,66 mm.

Toutes ces explications ont l'air un peu compliquées. Le dessin suivant fera comprendre plus simplement l'aspect général et les caractéristiques de la figure de référence terminée (fig. 5).

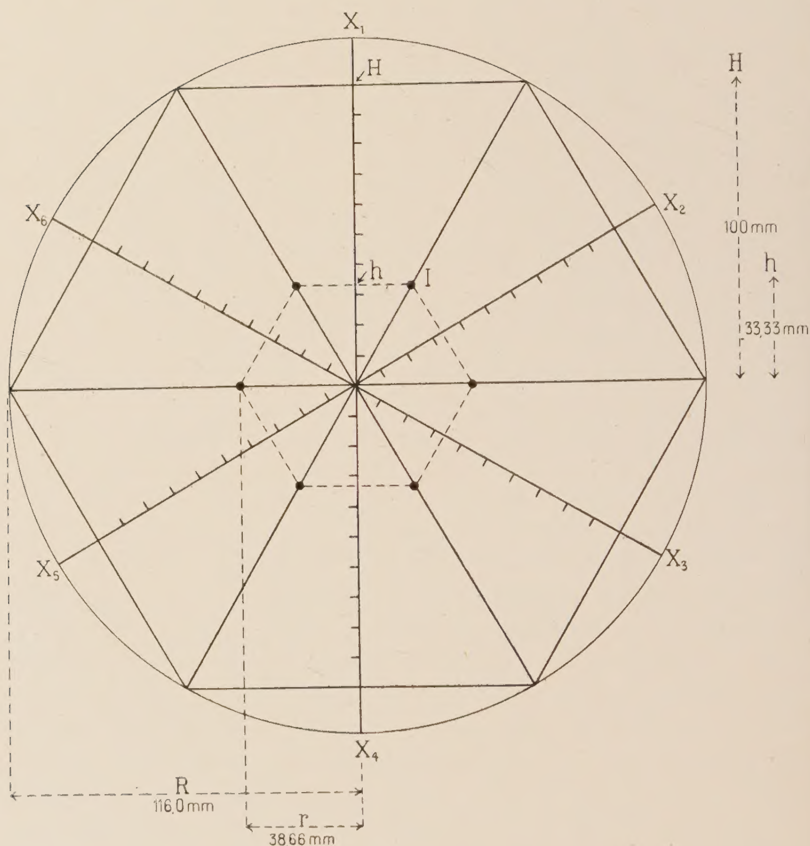


Fig. 5.

H — hexagone extérieur du diagramme. Apothème : 100 mm ; R = 116,0 mm.

h — hexagone isovalent. Apothème : 33,33 mm ; r = 38,66 mm.

X — axes des concentrations relatives ioniques (gradués en 100 mm représentant 100 %).

I — sommets de l'hexagone isovalent.

Remarque. — Le même graphique complet, prêt à l'usage, est donné hors-texte (Planche I).

AD. GOEMAERE, Imprimeur du Roi, 21, rue de la Limite, Bruxelles